

## (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2014 年 10 月 16 日 (16.10.2014)



(10) 国际公布号  
WO 2014/166163 A1

- (51) 国际专利分类号:  
H04L 27/26 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/077552
- (22) 国际申请日: 2013 年 6 月 20 日 (20.06.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201310119936.1 2013 年 4 月 8 日 (08.04.2013) CN
- (71) 申请人: 东南大学 (SOUTHEAST UNIVERSITY)  
[CN/CN]; 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。
- (72) 发明人: 王海明 (WANG, Haiming); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 邓祝明 (DENG, Zhuming); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 高西奇 (GAO, Xiqi); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 尤肖虎 (YOU, Xiaohu); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。

- (74) 代理人: 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙)  
(NANJING RUIHONG PATENT AND TRADEMARK OFFICE (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市玄武区太平门街 1 号 304 室, Jiangsu 210016 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) Title: MAIN SYNCHRONIZATION SEQUENCE DESIGN METHOD FOR GLOBAL COVERING MULTI-BEAM SATELLITE LTE

(54) 发明名称: 一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法

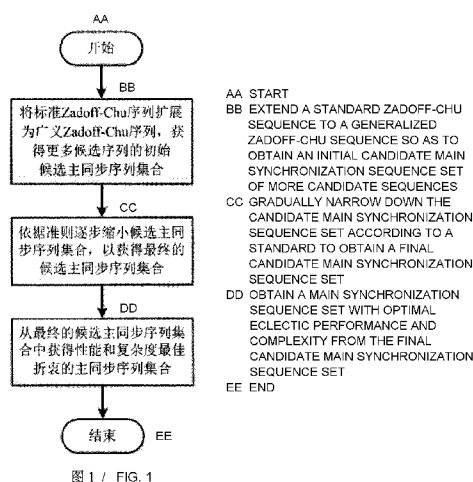


图 1 / FIG. 1

(57) Abstract: Disclosed is a main synchronization sequence design method for global covering multi-beam satellite LTE, comprising the follow steps: extending a standard Zadoff-Chu sequence to a generalized Zadoff-Chu sequence so as to obtain an initial candidate main synchronization sequence set of more candidate sequences; gradually narrowing down the candidate main synchronization sequence set according to a selection standard of a main synchronization sequence to obtain a final candidate main synchronization sequence set; and obtaining a main synchronization sequence set with optimal eclectic performance and complexity from the final candidate main synchronization sequence set. According to the present invention, a main synchronization sequence with optimal eclectic performance and calculation complexity can be designed for a global covering same-frequency networking multi-beam satellite LTE system.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2014/166163 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **本国际公布:**

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。  
TG)。

本发明公开了一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法, 包括如下步骤: 将标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列, 从而获得更多候选序列的初始候选主同步序列集合; 根据主同步序列的选择准则, 逐步缩小候选主同步序列集合, 以获得最终的候选主同步序列集合; 从最终的候选主同步序列集合中获得性能和复杂度最佳折衷的主同步序列集合。本发明可以为全域覆盖的同频组网多波束卫星 LTE 系统设计性能和计算复杂度最佳折衷的主同步序列。

## 一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法

### 技术领域

本发明属于宽带无线通信技术领域，具体是一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法。

### 背景技术

卫星移动通信是实现在任何地点进行通信的必要手段之一。近年来，第四代（The Fourth Generation Mobile Communication Systems, 4G）陆地蜂窝移动通信发展日趋成熟，以正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）、多输入多输出（Multiple-Input Multiple-Output, MIMO）和同频组网等作为关键技术的第三代合作伙伴计划长期演进技术（The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project Long Term Evolution, 3GPP-LTE）已经陆续投入商用。将具有高速率、大容量、高频谱效率、高功率效率等特点的陆地 LTE（Terrestrial LTE, T-LTE）应用到卫星移动通信中，建立同频组网的多波束卫星 LTE（Satellite LTE, S-LTE）移动通信系统是当前卫星移动通信领域研究的热点和难点。

采用地球静止轨道（Geostationary Earth Orbit, GEO）卫星提供移动通信业务具有很多优点：理论上，单颗 GEO 卫星能够覆盖 42.2% 的地球面积，3 颗 GEO 卫星即能覆盖南北极除外的全球区域；信号传输延迟时间是常量；不需要频繁的卫星间切换；多普勒频移小；技术相对成熟，投资风险相对较小等。然而，单纯采用 GEO 卫星的卫星移动通信系统，存在着一些问题：（1）GEO 已被密集占用；（2）无法覆盖两极；（3）中高纬度地区的通信仰角低，信号传输距离更远；（4）在地面终端和卫星之间的高大建筑物、山脉等，阻碍信号的传输，形成阴影区，从而难于实现卫星移动通信全域覆盖。倾斜地球静止同步轨道（Inclining Geostationary Synchronized Orbit, IGSO）卫星，由于轨道倾角大于 0°，其星下点轨迹是以赤道为对称轴的“8”字形，轨道倾角越大，“8”字形的区域也越大，因此，IGSO 卫星能有效克服 GEO 卫星在中高纬度地区始终是低仰角的问题。然而，单颗 IGSO 卫星的覆盖能力在某些地区不如 GEO 卫星。采用 GEO 卫星和 IGSO 卫星联合组网，两者优势互补，可实现全域覆盖。

多波束 GEO-IGSO S-LTE 移动通信系统在卫星上采用大型天线阵列产生多个波束，到达地面后形成多个小区。与 T-LTE 一样，GEO-IGSO S-LTE 也采用同频组网方式，相邻小区配置不同的主同步序列。然而，GEO-IGSO S-LTE 存在较为严重的波束间干扰

(Inter-Beam Interference, IBI), 相邻小区的交叠范围大。为了更好地实现小区搜索, GEO-IGSO S-LTE 需要数量更多的主同步序列。

## 发明内容

发明目的: 针对多波束 GEO-IGSO S-LTE 需要与 T-LTE 数量更多的主同步序列这一需求, 本发明的目的是提供一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法。

技术方案: 为实现上述发明目的, 本发明采用的技术方案为一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法, 包括如下步骤:

- (1) 将标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列, 从而获得更多候选序列的初始候选主同步序列集合;
- (2) 根据主同步序列的选择准则, 逐步缩小候选主同步序列集合, 以获得最终的候选主同步序列集合;
- (3) 从最终的候选主同步序列集合中获得性能和复杂度最佳折衷的主同步序列集合。

进一步的, 所述步骤 (1) 包括如下步骤:

1) 利用子载波映射的方式, 将长度为  $N_{zc}$  的标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列, 获得广义 Zadoff-Chu 序列集合  $A = \{x_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 其中  $x_u$  为广义 Zadoff-Chu 序列  $x_u(m)$  的向量形式,  $u$  表示根序号;

2) 去除广义 Zadoff-Chu 序列集合  $A$  中每条序列的中间点, 获得初始候选主同步序列集合  $B = \{d_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 其中  $d_u$  为初始候选主同步序列  $d_u(k)$  的向量形式, 向量  $d_u$  的长度为  $N_{zc} - 1$ 。

所述广义 Zadoff-Chu 序列  $x_u(m)$  由下式得到:

$$x_u(m) = \exp\left(-\frac{j\pi um(m+1)}{N_{zc}}\right) \quad m = 0, 1, \dots, N_{zc} - 1$$

式中,  $j$  为虚数单位;

$$d_u(k) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{j\pi uk(k+1)}{N_{zc}}\right) & k = 0, 1, \dots, \frac{N_{zc}-3}{2} \\ \exp\left(-\frac{j\pi u(k+1)(k+2)}{N_{zc}}\right) & k = \frac{N_{zc}-1}{2}, \frac{N_{zc}+1}{2}, \dots, N_{zc}-2 \end{cases}$$

进一步地, 所述选择准则包括: 时域自相关特性; 时域信号峰均比; 频偏敏感度; 时域互相关特性; 以及: 接收端对主同步序列进行相关运算的计算复杂度。

在所述步骤(2)中, 对初始候选主同步序列集合中的序列进行补零并进行  $N$  点离散傅里叶逆变换得到时域序列  $s_u(n)$ :

$$s_u(n) = \frac{1}{\sqrt{N_{zc}-1}} \sum_{k=0}^{N_{zc}-1} \hat{d}_u(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

其中,

$$\hat{d}_u(k) = \begin{cases} d_u\left(k + \frac{N_{zc}-1}{2}\right) & k = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}-1 \\ d_u\left(k - N + \frac{N_{zc}-1}{2}\right) & k = \frac{N}{2}+1, \frac{N}{2}+2, \dots, N-1 \\ 0 & k = 0, \frac{N}{2} \end{cases}$$

计算初始候选主同步序列集合中序列的时域自相关特性:

$$P_u = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{\substack{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1 \\ \tilde{n} \neq 0}} \{R_u(\tilde{n})\}}{R_u(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中,  $R_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \right|$ ,  $P_u$  用于描述序列的时域自相关特性,  $R_u(\tilde{n})$  为

序列的时域自相关值,  $*$  表示求共轭,  $\tilde{n}$  为序列  $s_u(n)$  的循环移位偏移量, 且满足:

$$1-N \leq \tilde{n} \leq N-1;$$

设定时域自相关特性的门限值, 将算得的时域自相关特性  $P_u$  大于该门限值的序列排除, 得到第一候选主同步序列集合。

计算所述第一候选主同步序列集合中序列的时域信号峰均比：

$$\text{PAPR}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} \{|s_u(n)|^2\}}{\text{E}\{|s_u(n)|^2\}} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $\text{PAPR}\{s_u\}$  用于描述序列的时域信号峰均比， $s_u$  是时域序列  $s_u(n)$  的向量形式， $\text{E}\{\cdot\}$  表示统计平均， $\max\{\cdot\}$  表示取最大值；

设定时域信号峰均比的门限值，将算得的时域信号峰均比  $\text{PAPR}\{s_u\}$  大于该门限值的序列排除，得到第二候选主同步序列集合。

计算所述第二候选主同步序列集合中序列的频偏敏感度：

$$\text{FoS}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1, \tilde{n} \neq 0} \{\tilde{R}_u(\tilde{n})\}}{\tilde{R}_u(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $\tilde{R}_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \exp\left(\frac{j2\pi n \varepsilon}{N}\right) \right|$ ， $\text{FoS}\{s_u\}$  用于描述序列的频偏敏感度， $\tilde{R}_u(\tilde{n})$  为加入载波频率偏移后序列的时域自相关值， $\varepsilon$  为归一化载波频率偏移；

设定频偏敏感度的门限值，将算得的频偏敏感度  $\text{FoS}\{s_u\}$  大于该门限值的序列排除，得到第三候选主同步序列集合。

计算所述第三候选主同步序列集合中序列的时域互相关特性：

$$P_{u_1 u_2} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1} \{R_{u_1 u_2}(\tilde{n})\}}{R_{u_1 u_1}(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $R_{u_1 u_2}(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_{u_1}(n) s_{u_2}^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \right|$ ， $P_{u_1 u_2}$  用于描述序列的时域互相关特性， $u_1$  和  $u_2$  分别表示不同的根序号， $R_{u_1 u_2}(\tilde{n})$  为序列的时域互相关值；

设定时域互相关特性的门限值，将时域互相关特性  $P_{u_1 u_2}$  大于该门限值的序列对排除，得到第四候选主同步序列集合。

所述接收端对第四候选主同步序列进行相关运算的计算复杂度准则，利用序列的如

下性质:  $s_u(n) = s_{N_{zc}-u}^*(n)$ , 使得接收端得到其中一条的相关运算结果后, 另一条序列的相关结果不需额外乘法计算, 可直接获得, 从而得到最终的候选主同步序列集合。

有益效果: 第一, 采用 GEO 卫星和 IGSO 卫星同频联合组网, 实现全域覆盖; 第二, 通过本发明的技术方案, 分别为 GEO 卫星和 IGSO 卫星提供两组不同的主同步序列, 降低了采用相同主同步序列配置小区间的干扰, 提高定时精度, 并加速小区搜索; 第三, 通过本发明的技术方案, 为 GEO 卫星和 IGSO 卫星提供两组不同的主同步序列, 据此, 通过检测主同步序列, 可判断小区所属的卫星类型; 第四, 通过本发明的技术方案, 为 GEO 卫星和 IGSO 卫星设计的多条主同步序列可分为具有互为共轭序列的 2 个序列子集, 从而可降低接收相关运算量。

### 附图说明

图 1 是本发明所述的一种全域覆盖多波束 S-LTE 的主同步序列设计方法的流程图。

图 2 是 T-LTE 主同步序列在频域中的映射方式示意图。

图 3 是第一候选主同步序列集合的时域自相关特性图。

图 4 是第二候选主同步序列集合的时域信号峰均比图。

图 5 是归一化频偏为 0.3 时, 第三候选主同步序列集合的频偏敏感度图。

### 具体实施方式

下面结合附图和具体实施例, 进一步阐明本发明, 应理解这些实施例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围, 在阅读了本发明之后, 本领域技术人员对本发明的各种等价形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

本发明提供了一种全域覆盖多波束 S-LTE 的主同步序列设计方法, 图 1 为该方法的流程图。下面以  $N_{zc} = 63$  的标准 Zadoff-Chu 序列为例, 结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细说明。

(1). 根据标准 Zadoff-Chu 序列定义, 序列长度  $N_{zc}$  和根序号  $u$  (Root Index) 必须满足

$$\gcd(N_{zc}, u) = 1 \quad (\text{公式 1})$$

其中,  $\gcd(x, y)$  表示  $x$  和  $y$  的最大公约数。LTE 技术规范规定, 直流子载波所对应的主同步序列的中间位置元素需要强制置零, 因此可以将标准 Zadoff-Chu 序列扩展为

广义 Zadoff-Chu 序列, 即: 根序号  $u$  的取值可以为  $u \in \{1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 从而可获得更多候选序列的初始候选主同步序列集合。

- 1) 将标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列, 获得广义 Zadoff-Chu 序列集合  $A = \{x_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 其中,  $x_u$  是序列  $x_u(m)$  的向量形式,  $x_u(m)$  由下式得到:

$$x_u(m) = \exp\left(-\frac{j\pi um(m+1)}{N_{zc}}\right) \quad m = 0, 1, \dots, N_{zc} - 1 \quad (\text{公式 2})$$

- 2) 去除广义 Zadoff-Chu 序列集合  $A$  中每条序列的中间点, 获得初始候选主同步序列集合  $B = \{d_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 其中,  $d_u$  是序列  $d_u(k)$  的向量形式,  $d_u(k)$  由下式得到:

$$d_u(k) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{j\pi uk(k+1)}{N_{zc}}\right) & k = 0, 1, \dots, \frac{N_{zc}-3}{2} \\ \exp\left(-\frac{j\pi u(k+1)(k+2)}{N_{zc}}\right) & k = \frac{N_{zc}-1}{2}, \frac{N_{zc}+1}{2}, \dots, N_{zc}-2 \end{cases} \quad (\text{公式 3})$$

- (2). 根据主同步序列的选择准则, 即时域自相关特性、时域信号峰均比、频偏敏感度、时域互相关特性以及接收端对主同步序列进行相关运算的计算复杂度, 逐步缩小候选主同步序列集合, 以获得最终的候选主同步序列集合。

- 1) 根据 T-LTE 主同步序列在频域中的映射方式, 分别对初始候选主同步序列集合  $B$  中的序列进行补零并进行长度  $N = 64$  点 IDFT 变换, 即采样率为 0.96 MHz, 获得时域序列集合  $S = \{s_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ , 其中,  $s_u$  是时域序列  $s_u(n)$  的向量形式,  $s_u(n)$  由下式得到:

$$s_u(n) = \frac{1}{\sqrt{N_{zc}-1}} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{d}_u(k) \exp\left\{\frac{j2\pi kn}{N}\right\}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (\text{公式 4})$$

其中,



$$\hat{d}_u(k) = \begin{cases} d_u\left(k + \frac{N_{zc}-1}{2} - 1\right) & k = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \\ d_u\left(k - N + \frac{N_{zc}-1}{2}\right) & k = \frac{N}{2} + 1, \frac{N}{2} + 2, \dots, N - 1 \\ 0 & k = 0, \frac{N}{2} \end{cases} \quad (\text{公式 5})$$

图 2 给出了 T-LTE 主同步序列在频域中的映射方式。

2) 计算初始候选主同步序列集合中序列的时域自相关特性  $P_u$ ，计算公式如下：

$$P_u = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1} \{R_u(\tilde{n})\}}{R_u(0)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{公式 6})$$

其中，

$$R_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n + \tilde{n}) \bmod N) \right| \quad (\text{公式 7})$$

设定域自相关特性的门限值为 -14.9dB，将时域自相关特性大于门限值的序列排除，得到第一候选主同步序列集合  $C = \{d_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc} - 1\}$ 。图 3 给出了第一初始候选主同步序列集合的时域自相关特性。

3) 计算 2) 中得到的第一候选主同步序列集合中序列的时域信号峰均比，计算公式如下：

$$\text{PAPR}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} \{|s_u(n)|^2\}}{E\{|s_u(n)|^2\}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{公式 8})$$

其中， $s_u$  是时域序列  $s_u(n)$  的向量形式， $E\{\cdot\}$  表示统计平均。设定域信号峰均比的门限值为 5.5dB，将时域信号峰均比大于门限值的序列排除，得到第二候选主同步序列集合：

$$D = \left\{ d_u \left| \begin{array}{l} u = 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 23, 25, \\ 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 44, 47, \\ 48, 50, 51, 52, 53, 55, 58, 59, 60, 61, 62 \end{array} \right. \right\}$$

图 4 给出了第二候选主同步序列集合的时域信号峰均比。

- 4) 计算 3)中得到的第二候选主同步序列集合中序列的频偏敏感度，其中归一化载波频率偏移（简称“归一化频偏”）设定为  $\varepsilon = 0.3$ ，计算公式如下：

$$\text{FoS}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1, \tilde{n} \neq 0} \{\tilde{R}_u(\tilde{n})\}}{\tilde{R}_u(0)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{公式 9})$$

其中，

$$\tilde{R}_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \exp\left(\frac{j2\pi n \varepsilon}{N}\right) \right| \quad (\text{公式 10})$$

设定频偏敏感度的门限值为-4.6dB，将频偏敏感度大于门限值的序列排除，得到第三候选主同步序列集合：

$$F = \{d_u | u = 19, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 38, 44\}$$

图 5 给出了归一化频偏  $\varepsilon = 0.3$  时，第三候选主同步序列集合的频偏敏感度。

- 5) 计算 4)中得到的第三候选主同步序列集合中序列两两之间的时域互相关特性  $P_{u_1 u_2}$ ，计算公式如下：

$$P_{u_1 u_2} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1} \{R_{u_1 u_2}(\tilde{n})\}}{R_{u_1 u_1}(0)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (\text{公式 11})$$

其中：

$$R_{u_1 u_2}(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_{u_1}(n) s_{u_2}^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \right| \quad (\text{公式 12})$$

得到表 1。

表 1 序列最大互相关绝对值 (dB)

| 互相关<br>$u_1$ (dB) | 19    | 25    | 26    | 29    | 30    | 33    | 34    | 38    | 44    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19                | 0     | -6.19 | -4.68 | -6.30 | -6.37 | -4.82 | -6.24 | -6.28 | -7.07 |
| 25                | -6.19 | 0     | -8.06 | -7.43 | -6.35 | -7.02 | -4.15 | -6.71 | -6.28 |
| 26                | -4.68 | -8.06 | 0     | -6.24 | -7.43 | -4.68 | -7.02 | -6.24 | -4.15 |
| 29                | -6.30 | -7.43 | -6.24 | 0     | -8.06 | -7.43 | -6.35 | -4.15 | -6.24 |
| 30                | -6.37 | -6.35 | -7.43 | -8.06 | 0     | -6.24 | -7.43 | -7.02 | -4.82 |
| 33                | -4.82 | -7.02 | -4.68 | -7.43 | -6.24 | 0     | -8.06 | -6.35 | -6.37 |
| 34                | -6.24 | -4.15 | -7.02 | -6.35 | -7.43 | -8.06 | 0     | -7.43 | -6.30 |
| 38                | -6.28 | -6.71 | -6.24 | -4.15 | -7.02 | -6.35 | -7.43 | 0     | -6.19 |
| 44                | -7.07 | -6.28 | -4.15 | -6.24 | -4.82 | -6.37 | -6.30 | -6.19 | 0     |

若设定时域互相关特性的门限值为-6dB，将时域互相关特性大于门限值的序列对排除，则得到第四候选主同步序列集合：

$$G = \{d_u | u = 19, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 38, 44\}$$

- 6) 依据接收端对主同步序列进行相关运算的计算复杂度最小准则，利用如下性质：

$$s_u(n) = s_{N_x - u}^*(n) \quad (\text{公式 13})$$

设  $x = x_R + jx_I$ ， $y = y_R + jy_I$ ，其中， $x_R$  和  $x_I$  分别是向量  $x$  的实部和虚部， $y_R$  和  $y_I$  分别是向量  $y$  的实部和虚部。设  $X_R = \text{Circ}\{x_R\}$ ， $X_I = \text{Circ}\{x_I\}$ ，其中  $\text{Circ}\{x\}$  表示第一列为  $x$  的循环矩阵，则  $X = \text{Circ}\{x\} = X_R + jX_I$ ， $X^* = \text{Circ}\{x^*\} = X_R - jX_I$ 。序列  $x$  和  $y$  的互相关表示为

$$\begin{aligned}
r_{xy} &= X^H y \\
&= (X_R + jX_I)^H (y_R + jy_I) \\
&= (X_R^T y_R + X_I^T y_I) + j(X_R^T y_I - X_I^T y_R) \\
&= (a + b) + j(c - d)
\end{aligned} \tag{公式 14}$$

其中,  $a = X_R^T y_R$ ,  $b = X_I^T y_I$ ,  $c = X_R^T y_I$ ,  $d = X_I^T y_R$ 。序列  $x^*$  和  $y$  的互相关可表示为

$$\begin{aligned}
r_{x^*y} &= (X^*)^H y \\
&= (X_R - jX_I)^H (y_R + jy_I) \\
&= (X_R^T y_R - X_I^T y_I) + j(X_R^T y_I + X_I^T y_R) \\
&= (a - b) + j(c + d)
\end{aligned} \tag{公式 15}$$

因此, 利用序列互为共轭特性, 接收端得到其中一条序列的相关运算结果后, 另一条序列的相关结果不需额外乘法计算量, 利用错误! 未找到引用源。和错误! 未找到引用源。之间的关系可直接获得, 从而降低接收端对主同步序列进行相关运算的计算复杂度。根据这一选择准则, 得到最终的候选主同步序列集合:

$$H = \{d_u | u = (19, 44), (25, 38), (29, 34), (30, 33)\}$$

其中, 8 条序列的集合分为 4 个子集, 子集中的序列对互为共轭。

- (3). 从最终的候选主同步序列集合中获得性能和计算复杂度最佳折衷的主同步序列。为利用序列互为共轭特性以降低接收端进行相关运算的计算复杂度, GEO 卫星可选用 3 条序列作为主同步序列, 这 3 条序列来自最终的候选主同步序列集合  $H$  中任意 3 个序列子集, 每子集选 1 条, 而 IGSO 卫星可选用这 3 个子集剩余的另外 3 条序列。例如, GEO 卫星采用主同步序列集合  $H_{\text{GEO}} \models \{d_u | u = 25, 29, 30\}$ , 而 IGSO 卫星则采用主同步序列集合  $H_{\text{IGSO}} \models \{d_u | u = 33, 34, 38\}$ 。

## 权利要求书

1、一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于，包括如下步骤：

(1) 将标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列，从而获得更多候选序列的初始候选主同步序列集合；

(2) 根据主同步序列的选择准则，逐步缩小候选主同步序列集合，以获得最终的候选主同步序列集合；

(3) 从最终的候选主同步序列集合中获得性能和复杂度最佳折衷的主同步序列集合。

2、根据权利要求 1 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：所述步骤 (1) 包括如下步骤：

1) 利用子载波映射的方式，将长度为  $N_{zc}$  的标准 Zadoff-Chu 序列扩展为广义 Zadoff-Chu 序列，获得广义 Zadoff-Chu 序列集合  $A = \{x_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ ，其中  $x_u$  为广义 Zadoff-Chu 序列  $x_u(m)$  的向量形式， $u$  表示根序号；

2) 去除广义 Zadoff-Chu 序列集合 A 中每条序列的中间点，获得初始候选主同步序列集合  $B = \{d_u | u = 1, 2, \dots, N_{zc}\}$ ，其中  $d_u$  为初始候选主同步序列  $d_u(k)$  的向量形式，向量  $d_u$  的长度为  $N_{zc} - 1$ 。

3、根据权利要求 2 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：所述广义 Zadoff-Chu 序列  $x_u(m)$  由下式得到：

$$x_u(m) = \exp\left(-\frac{j\pi um(m+1)}{N_{zc}}\right) \quad m = 0, 1, \dots, N_{zc} - 1$$

式中， $j$  为虚数单位；

$$d_u(k) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{j\pi uk(k+1)}{N_{zc}}\right) & k = 0, 1, \dots, \frac{N_{zc}-3}{2} \\ \exp\left(-\frac{j\pi u(k+1)(k+2)}{N_{zc}}\right) & k = \frac{N_{zc}-1}{2}, \frac{N_{zc}+1}{2}, \dots, N_{zc}-2 \end{cases}。$$

4、根据权利要求 3 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：所述选择准则包括：时域自相关特性；时域信号峰均比；频偏敏感度；时域互相关特性；以及：接收端对主同步序列进行相关运算的计算复杂度。

5、根据权利要求 4 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：所述步骤（2）中，对初始候选主同步序列集合中的序列进行补零并进行  $N$  点离散傅里叶逆变换得到时域序列  $s_u(n)$ ：

$$s_u(n) = \frac{1}{\sqrt{N_{zc}-1}} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{d}_u(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right), \quad n=0,1,\dots,N-1$$

其中，

$$\hat{d}_u(k) = \begin{cases} d_u\left(k + \frac{N_{zc}-1}{2} - 1\right) & k=1,2,\dots,\frac{N}{2}-1 \\ d_u\left(k - N + \frac{N_{zc}-1}{2}\right) & k=\frac{N}{2}+1,\frac{N}{2}+2,\dots,N-1 \\ 0 & k=0,\frac{N}{2} \end{cases}$$

6、根据权利要求 5 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：计算初始候选主同步序列集合中序列的时域自相关特性：

$$P_u = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1} \{R_u(\tilde{n})\}}{R_u(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $R_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \right|$ ， $P_u$  用于描述序列的时域自相关特性， $R_u(\tilde{n})$  为

序列的时域自相关值， $*$  表示求共轭， $\tilde{n}$  为序列  $s_u(n)$  的循环移位偏移量，且满足：

$$1-N \leq \tilde{n} \leq N-1;$$

设定时域自相关特性的门限值，将算得的时域自相关特性  $P_u$  大于该门限值的序列排除，得到第一候选主同步序列集合。

7、根据权利要求 6 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：计算所述第一候选主同步序列集合中序列的时域信号峰均比：

$$\text{PAPR}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} \{|s_u(n)|^2\}}{\text{E}\{|s_u(n)|^2\}} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $\text{PAPR}\{s_u\}$  用于描述序列的时域信号峰均比， $s_u$  是时域序列  $s_u(n)$  的向量形式，

$\text{E}\{\cdot\}$  表示统计平均， $\max\{\cdot\}$  表示取最大值；

设定时域信号峰均比的门限值，将算得的时域信号峰均比  $\text{PAPR}\{s_u\}$  大于该门限值的

序列排除，得到第二候选主同步序列集合。

8、根据权利要求 7 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：计算所述第二候选主同步序列集合中序列的频偏敏感度：

$$\text{FoS}\{s_u\} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{\substack{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1 \\ \tilde{n} \neq 0}} \{\tilde{R}_u(\tilde{n})\}}{\tilde{R}_u(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $\tilde{R}_u(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_u(n) s_u^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \exp\left(\frac{j2\pi n \varepsilon}{N}\right) \right|$ ， $\text{FoS}\{s_u\}$  用于描述序列的频偏敏感度， $\tilde{R}_u(\tilde{n})$  为加入载波频率偏移后序列的时域自相关值， $\varepsilon$  为归一化载波频率偏移；

设定频偏敏感度的门限值，将算得的频偏敏感度  $\text{FoS}\{s_u\}$  大于该门限值的序列排除，得到第三候选主同步序列集合。

9、根据权利要求 8 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：计算所述第三候选主同步序列集合中序列的时域互相关特性：

$$P_{u_1 u_2} = 10 \log_{10} \left( \frac{\max_{1-N \leq \tilde{n} \leq N-1} \{R_{u_1 u_2}(\tilde{n})\}}{R_{u_1 u_1}(0)} \right) \quad (\text{dB})$$

其中， $R_{u_1 u_2}(\tilde{n}) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_{u_1}(n) s_{u_2}^*((n+\tilde{n}) \bmod N) \right|$ ， $P_{u_1 u_2}$  用于描述序列的时域互相关特性， $u_1$  和  $u_2$  分别表示不同的根序号， $R_{u_1 u_2}(\tilde{n})$  为序列的时域互相关值；

设定时域互相关特性的门限值，将时域互相关特性  $P_{u_1 u_2}$  大于该门限值的序列对排除，得到第四候选主同步序列集合。

10、根据权利要求 9 所述一种全域覆盖多波束卫星 LTE 的主同步序列设计方法，其特征在于：所述接收端对第四候选主同步序列进行相关运算的计算复杂度准则，利用序列的如下性质： $s_u(n) = s_{N_{zc}-u}^*(n)$ ，从而得到最终的候选主同步序列集合。

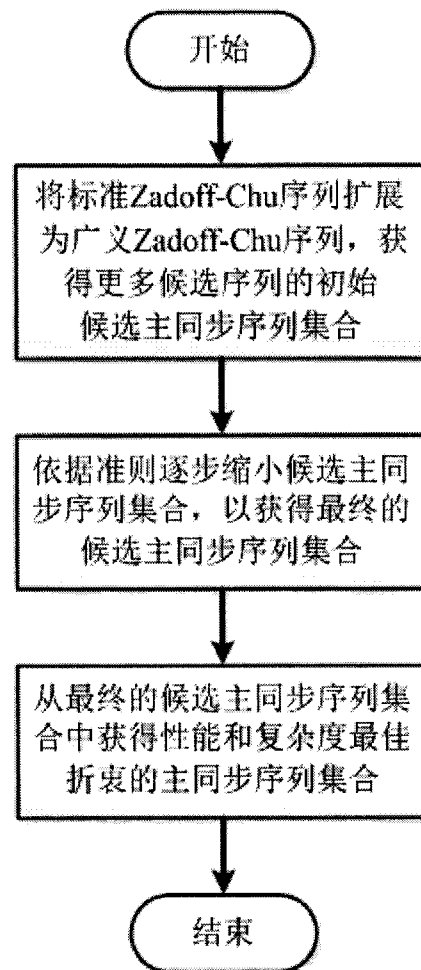


图 1

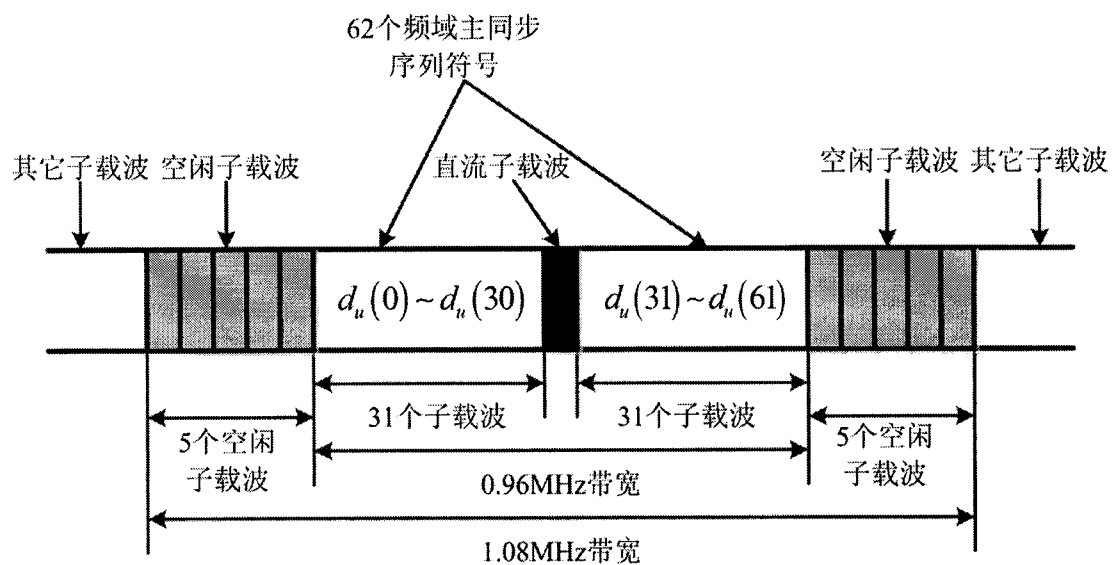


图 2



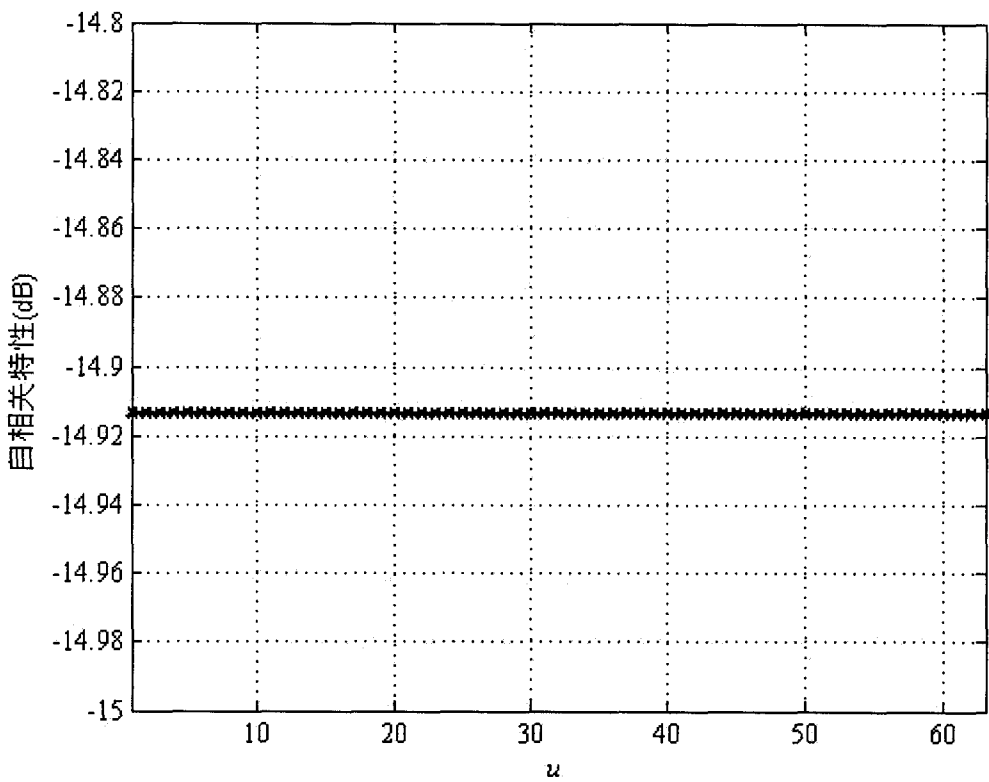


图 3

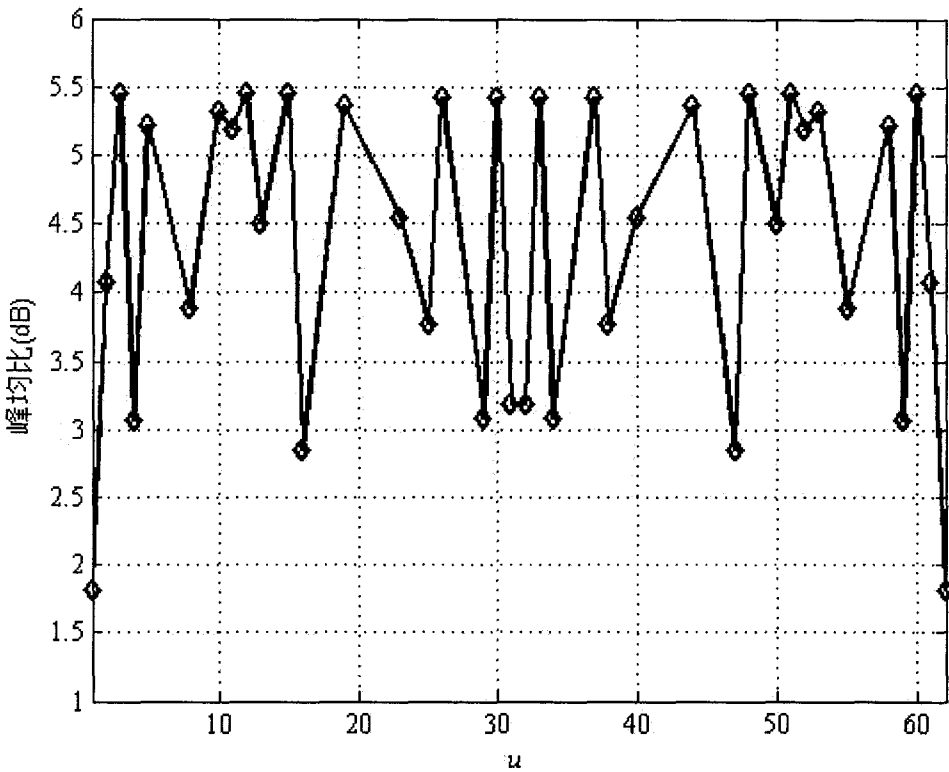


图 4

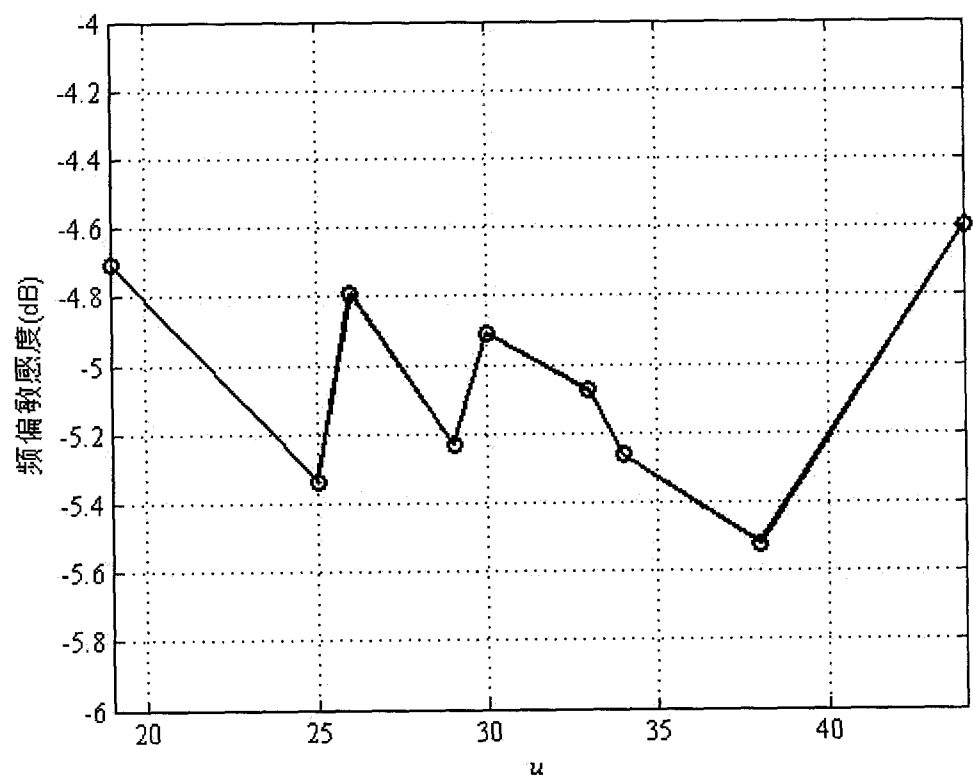


图 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2013/077552**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 27/26 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H04B; H04W; H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI; EPODOC; CNKI; IEEE; CNPAT; 3GPP: candidate, Zadoff-Chu, LTE, CAZAC, synchroni+, choose, select

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | FURHT, B. et al. LONG TERM EVOLUTION: 3GPP LTE Radio and Cellular Technology, CRC PRESS, sections 3.1.3 and 3.4.3.1, ISBN 978-1-4200-7210-5, 2009                              | 1-4                   |
| A         | CN 102271015 A (CHONGQING CYIT COMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.), 07 December 2011 (07.12.2011), the whole document                                                        | 1-10                  |
| A         | US 2007183386 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED), 09 August 2007 (09.08.2007), the whole document                                                                             | 1-10                  |
| A         | 3GPP "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); PHYSICAL CHANNELS AND MODULATION (Release 11)", 3GPP TS 36.211 V11.2.0, February 2013 (02.2013), the whole document | 1-10                  |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                                              |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                                                                     |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date                                                                               | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date of the actual completion of the international search<br>25. November 2013 (25.11.2013)                                                                                                                        | Date of mailing of the international search report<br><b>09 January 2014 (09.01.2014)</b> |
| Name and mailing address of the ISA/CN:<br>State Intellectual Property Office of the P. R. China<br>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao<br>Haidian District, Beijing 100088, China<br>Facsimile No.: (86-10) 62019451 | Authorized officer<br><b>ZHANG, Yingxin</b><br>Telephone No.: (86-10) <b>62413366</b>     |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/CN2013/077552**

| Patent Documents referred<br>in the Report | Publication Date | Patent Family    | Publication Date |
|--------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| CN 102271015 A                             | 07.12.2011       | None             |                  |
| US 2007183386 A1                           | 09.08.2007       | US 2007171995 A1 | 26.07.2007       |
|                                            |                  | WO 2007087602 A2 | 02.08.2007       |
|                                            |                  | EP 1985023 A2    | 29.10.2008       |
|                                            |                  | US 2010226413 A1 | 09.09.2010       |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/077552

## A. 主题的分类

H04L 27/26 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

## B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H04B; H04W; H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

WPI; EPODOC; CNKI; IEEE; CNPAT; 3GPP: 同步、候选、Zadoff-Chu、LTE、CAZAC、synchroni+, choose, select

## C. 相关文件

| 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                        | 相关的权利要求 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| X    | FURHT, Borko et al. LONG TERM EVOLUTION: 3GPP LTE Radio and Cellular Technology, CRC Press, 3.1.3、3.4.3.1 节, ISBN 978-1-4200-7210-5, 2009 年              | 1-4     |
| A    | CN 102271015 A (重庆重邮信科通信技术有限公司) 07.12 月 2011 (07.12.2011) 全文                                                                                             | 1-10    |
| A    | US 2007183386 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED) 09.8 月 2007 (09.08.2007) 全文                                                                            | 1-10    |
| A    | 3GPP "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 11)", 3GPP TS 36.211 V11.2.0, 2 月 2013 (02.2013) 全文 | 1-10    |



其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

\* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

25.11.月 2013 (25.11.2013)

国际检索报告邮寄日期

09.1 月 2014 (09.01.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

张迎新

电话号码: (86-10) 62413366

**国际检索报告**  
关于同族专利的信息

国际申请号  
**PCT/CN2013/077552**

| 检索报告中引用的<br>专利文件 | 公布日期       | 同族专利             | 公布日期       |
|------------------|------------|------------------|------------|
| CN 102271015 A   | 07.12.2011 | 无                |            |
| US 2007183386 A1 | 09.08.2007 | US 2007171995 A1 | 26.07.2007 |
|                  |            | WO 2007087602 A2 | 02.08.2007 |
|                  |            | EP 1985023 A2    | 29.10.2008 |
|                  |            | US 2010226413 A1 | 09.09.2010 |